MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE ET DES BEAUX-ARTS

BIBLIOTHÈQUE, OFFICE ET MUSÉE
DE L'ENSEIGNEMENT PUBLIC
(MUSÉE PÉDAGOGIQUE)

SERVICE DES PROJECTIONS LUMINEUSES

NOTICES SUR LES VUES

L'ACOUSTIQUE
ET
LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE

PAR

A. THULOUP,
Ingénieur de la marine.

MELUN
IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE

1906

La présente notice doit être renvoyée au Musée avec les Vues.



L'ACOUSTIQUE

ET

LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE

INTRODUCTION

Les sons sont des sensations d'une nature particulière, qui nous sont révélées par le fonctionnement de l'oreille.

L'origine externe de ces sensations est très variée : choc du marteau sur l'enclume, vent dans les arbres, eau qui bout, instruments de musique, voix de l'homme et des animaux, etc.

Les physiciens ont établi que tous ces phénomènes capables d'affecter notre oreille ont un caractère commun ; ils proviennent tous du *mouvement vibratoire imprimé à un corps élastique* (1).

(1) Dans le texte de cette notice, nous avons omis à dessein tout ce qui est relatif aux gammes, aux tons, aux accords, etc., en un mot à la technique musicale, car les principes généraux qui régissent le fonctionnement des instruments de musique en sont indépendants. Néanmoins, nous ajouterons en note, à titre de complément, quelques indications utiles à ce sujet.

N° 1. — Mouvement vibratoire d'une lame d'acier.

Prenons par exemple une longue lame de ressort ACB que nous serrons entre les deux mâchoires d'un étau E. Écartons-la de sa position d'équilibre et abandonnons-la à elle-même, elle va décrire une série d'oscillations entre deux positions extrêmes Ca et Ca'. Chacune des oscillations de cette lame élastique est appelée *vibration*.

Si la lame est assez mince et assez longue, les vibrations seront lentes, de telle façon que l'œil pourra les distinguer et qu'on les comptera facilement. Réduisons au contraire la longueur de la verge, les vibrations deviendront plus rapides et cesseront de pouvoir être comptées; les diverses positions de la lame se brouilleront devant l'œil, donnant l'aspect d'un secteur continu. Réduisons de nouveau la longueur, les vibrations s'accélèrent encore, et maintenant nous percevons un son. Voici donc un cas où le son entendu est nettement corrélatif de l'état vibratoire d'un corps élastique.

On ferait exactement la même expérience avec une corde tendue; on ne distinguerait pas non plus chacune des vibrations de la corde sonore, mais on verrait celle-ci sous forme d'un fuseau allongé.

Quand on heurte un verre à boire, il rend un son, quoique ses vibrations aient une amplitude très faible, on peut facilement les sentir avec le doigt en approchant celui-ci délicatement; son contact fait d'ailleurs bientôt cesser les vibrations et le son s'éteint.

On peut rendre encore les vibrations sensibles au moyen d'un petit pendule très léger dont on amène la masse en contact avec le verre; quand celui-ci rend un son, le petit pendule est projeté plusieurs fois de

suite, tant que dure le son, accusant le mouvement vibratoire. L'expérience se fait de même avec un diapason ou une corde.

Nous verrons plus loin comment on révèle le mouvement vibratoire de l'air dans les tuyaux sonores.

Ainsi les corps élastiques peuvent rendre des sons ; les corps mous au contraire, incapables de vibrer, ne peuvent rendre de sons prolongés ; tout au plus entend-on le bruit d'un choc initial ; ceci se vérifie facilement en frappant avec un marteau sur un bloc de plomb, ou avec la main sur un édredon ; on entend un bruit sourd qui s'éteint aussitôt et qui n'a rien de commun avec le son d'un diapason, d'un verre choqué, ou d'une enclume frappée.

N° 2. — **Le son ne se propage pas dans le vide.**

Avant d'entreprendre avec de plus grands détails l'étude des corps sonores, il est bon de se rendre compte comment leurs vibrations peuvent se transmettre à l'oreille.

En général elles se transmettent par l'air ; de même qu'une pierre jetée dans l'eau crée à sa surface une série d'ondes circulaires concentriques qui s'étendent indéfiniment, de même les vibrations imprimées à un corps élastique sont communiquées par lui à l'air environnant ; tant que son mouvement se maintient il devient le centre d'une série *d'ondes sphériques* qui se propagent dans l'air environnant ; les mouvements alternatifs ainsi communiqués aux molécules d'air sont d'une si faible amplitude que notre peau ne peut les percevoir, mais ils sont cependant capables de mettre en action comme nous le verrons plus loin les mécanismes délicats de notre oreille.

Il est facile de vérifier que, à défaut d'un autre corps élastique, l'air est nécessaire pour transmettre le son à notre oreille. Si l'on suspend par un fil une sonnette (S) dans un ballon où l'on a fait le vide, on peut agiter la sonnette sans qu'aucun son soit entendu (1).

Si l'on fait rentrer l'air peu à peu le son augmente, jusqu'à reprendre son intensité ordinaire quand l'air est à la pression habituelle ; il en est de même si l'on remplace l'air par un autre gaz.

De même que les ondes circulaires causées par la chute d'une pierre dans l'eau ne se transmettent pas au loin instantanément, de même les ondes sphériques émises par un corps sonore se propagent avec une vitesse qu'on a pu mesurer; elle est de 330 mètres environ par seconde dans l'air. Si, par exemple, un chasseur situé à 1.000 mètres de distance tire un coup de fusil, la lueur sera aperçue trois secondes environ avant qu'on entende le bruit de l'explosion; c'est en somme par des expériences de ce genre que la vitesse du son dans l'air a été mesurée (2).

N° 3. — **Expérience de Colladon et Sturm.**

Le son se transmet aussi dans les liquides et notamment dans l'eau (3). Colladon et Sturm ont pu, sur le lac de Genève, mesurer la vitesse de propagation du son

(1) Cette expérience est due à Otto de Guericke, l'inventeur de la machine pneumatique.

(2) On sait que la lumière se propage avec une vitesse de 300.000 kilomètres par seconde; sa propagation à toute distance usuelle est donc pratiquement instantanée.

(3) L'expérience se fait facilement avec un son émis dans l'eau et reçu de même; un son émis dans l'air est difficilement entendu par un observateur dont la tête est sous l'eau car la transmission des vibrations se fait mal de l'air à l'eau.

dans l'eau par le dispositif que représente la figure projetée. L'un des observateurs placé sur un bateau frappait avec un marteau sur une cloche immergée; le même mouvement allumait un tas de poudre qui jetait une vive lumière. Le second observateur placé à une grande distance sur un autre bateau notait l'instant où la lueur paraissait, puis l'instant où il entendait le son dans un espèce de cornet acoustique dont la trompe était plongée.

La vitesse de propagation du son dans l'eau fut trouvée de 1.435 mètres, soit plus de quatre fois la vitesse dans l'air.

Le son se transmet parfaitement dans les solides élastiques; si nous appliquons l'oreille à l'extrémité d'une longue poutre de bois, nous entendons d'une façon parfaite le choc d'une épingle contre l'extrémité opposée.

Le son du canon est entendu de très loin par une oreille collée contre le sol.

Seuls les corps mous ne peuvent transmettre les vibrations.

En résumé, nous conclurons que:

Le son est une sensation dont la cause réside dans les vibrations d'un corps élastique transmises à l'oreille par une série continue d'autres corps élastiques.

N° 4. — **Sonomètre.**

Ces préliminaires posés, nous allons étudier successivement les différents corps sonores auxquels on s'est adressé pour la production des sons musicaux, pour la construction des instruments de musique.

Nous commençons par les cordes qui vont nous permettre de faire facilement une étude assez précise : on emploie dans ce but l'appareil simple que représente la figure et qu'on appelle *sonomètre*.

C'est une table sur laquelle une ou plusieurs cordes attachées d'un bout à une cheville fixe peuvent être tendues de l'autre par une vis ou un poids. La longueur vibrante de la corde est limitée par deux chevalets en bois à arête aiguë.

N° 5. — Vibration des cordes; leur inscription.

Une corde C D (fig. I) étant tendue sur ce sonomètre, écartons-la de sa position d'équilibre jusqu'en C A D, puis abandonnons-la à elle-même; en vertu de son élasticité elle va revenir jusqu'à sa position d'équilibre, mais elle ne s'y arrêtera pas et la dépassera pour s'en écarter en sens inverse jusqu'en C B D; elle aura ainsi accompli ce qu'on appelle une *vibration simple*; mais alors tendue de nouveau, elle revient vers sa position d'équilibre et la dépasse pour revenir jusqu'en C E D, effectuant ainsi une seconde vibration simple; deux vibrations simples successives, constituant l'aller et le retour, forment une *vibration double*.

La corde décrit ainsi une série d'oscillations qui comme celles du pendule sont *isochrones* (c'est-à-dire en nombre égal dans un temps égal); leur amplitude va en décroissant peu à peu et l'intensité du son en même temps qu'elle.

Bien entendu, comme la lame flexible dont nous parlions au début, quand la corde rend un son, les vibrations sont trop rapides pour être appréciables à l'œil

nu : la corde apparaît seulement comme un fuseau translucide (fig. II). On est parvenu cependant à enregistrer et à compter ces vibrations (fig. III) : supposons qu'au milieu A de la corde C D, vibrant dans le plan horizontal, nous ayons collé une petite barbe de plume très courte. Faisons maintenant déplacer sous la corde dans le sens de la longueur une feuille noircie avec du noir de fumée ; et supposons que cette feuille se déplace avec une vitesse bien connue, 50 centimètres par seconde, pour fixer les idées. On comprend facilement que dans ces conditions, la petite barbe va inscrire sur la feuille noircie une ligne blanche sinueuse présentant autant de sinuosités que la corde a fait de vibrations ; par suite, il suffira de compter le nombre de sinuosités comprises entre deux traits EF et GH distants de 50 centimètres pour connaître le nombre de vibrations par seconde (fig. IV).

On peut aussi faire vibrer la corde devant un grand cornet parabolique P, dont le fond est une mince membrane M qu'on peut tendre plus ou moins comme la peau d'un tambour (fig. V).

Au centre de cette membrane est fixé un petit style (S). Or, si la tension de la membrane est convenable et si le son donné par la corde est assez puissant, la membrane se met à vibrer exactement comme la corde, en reproduisant le même son et le style (S) peut enregistrer le son sur une feuille noircie qui se déplace exactement comme dans le cas précédent. Cet appareil, inventé en 1857 par le physicien français *Scott*, s'appelle le *phonautographe*(1). La figure suivante en montre une vue perspective.

(1) En réalité, il est très difficile de déplacer la feuille noircie

N° 6. — Phonautographe de Scott.

Notre procédé d'inscription des vibrations va nous permettre des constatations intéressantes.

D'abord prenons deux cordes de grosseurs, de longueurs et de natures différentes; tendons-les de façon à leur faire rendre des sons identiques, de façon que l'oreille ne saisisse au point de vue de la hauteur aucune différence (*unisson*) ; notre appareil inscripteur nous révélera facilement que les deux cordes font exactement *le même nombre de vibrations* dans une seconde.

Par le même procédé nous constaterons qu'un son est d'autant plus aigu que ses vibrations sont plus rapides. Le degré d'acuité est donc en relation directe avec le nombre de vibrations par seconde, qu'on appelle la *hauteur* du son.

Il y a donc une différence essentielle entre *l'intensité* du son, qui dépend de l'amplitude des vibrations, c'est-à-dire de l'écart initial imprimé à la corde (1) et la *hauteur* qui dépend de la rapidité des vibrations que la corde est capable d'émettre.

Ajoutons que ces deux qualités fondamentales, intensité et hauteur, ne suffisent pas pour déterminer un son; deux *notes* égales en intensité et en acuité, mais émises

---

avec une vitesse assez grande et rigoureusement constante, ce qui complique un peu l'expérience, mais le principe reste le même.

Remarquons que le *phonautographe* est analogue au *phonographe*, mais dans ce dernier l'inscription a lieu *en profondeur* sur un cylindre de cire, ce qui permet la reproduction ultérieure des sons enregistrés.

(Voir la notice spéciale sur le phonographe).

(1) Le son se propage d'autant plus loin que son intensité est plus grande.

par deux instruments différents, seront en général aisément distinguées grâce à un caractère spécial qu'on appelle le *timbre*, sur la nature duquel nous reviendrons plus loin.

Pour revenir à la hauteur des sons, nous devons dire que pour rendre un son, un corps élastique comme une corde, comme l'air d'un tuyau sonore, etc., doit effectuer un nombre de vibrations assez grand; si celui-ci est inférieur à 32 vibrations simples par seconde (1) l'oreille ne perçoit rien ; au-dessus de ce chiffre au contraire, elle est influencée ; enfin, chose curieuse, quand le son augmentant d'acuité atteint environ 75.000 vibrations simples par seconde il cesse d'être perçu ; cette limite varie un peu avec les individus ; certaines personnes, paraît-il, n'entendent pas la stridulation des grillons, ni le pépiement des moineaux.

N° 7. — **Vibration des cordes. Harmoniques.**

Voici de nouvelles expériences à faire avec notre sonomètre. Si l'on réduit la corde C D (fig. I) à la moitié A D de sa longueur primitive (fig. II), elle rend un son dont le nombre de vibrations dans un temps donné, une seconde par exemple, est exactement doublé (octave du premier) ; de même si l'on réduit la corde au tiers, au quart de sa longueur, le nombre de vibrations est triplé, quadruplé ; *la hauteur du son donné par une corde est donc en raison inverse de sa longueur.*

---

(1) Ce son est donné par le tuyau ouvert de 32 pieds ou le tuyau bouché de 16 pieds de l'orgue.

Les sons d'un bon usage en musique sont compris entre 60 et 8.000 vibrations simples, ce qui donne un intervalle de 7 octaves environ.

Si l'on emploie des cordes de divers diamètres, on voit que le *la hauteur du son est en raison inverse des diamètres.*

Si c'est la nature des cordes qui varie, on vérifie que *la hauteur du son est en raison inverse de la racine carrée de la densité.*

Si enfin on tend la corde par l'intermédiaire d'une poulie avec des poids variables, on voit que *la hauteur du son est proportionnelle à la racine carrée de la tension;* si le poids est quadruplé (comme le montre la fig. III), la corde donne l'octave.

En résumé: *pour avoir un son grave,* on emploiera une corde longue, grosse, dense et peu tendue; *pour avoir un son aigu,* on emploiera une corde courte, fine, légère et très tendue.

Ce qui précède est relatif au son produit par la *corde à vide,* c'est-à-dire vibrant dans toute sa longueur, au *son fondamental.* Comme nous l'avons vu, la corde prend l'aspect d'un fuseau translucide, accusant dans une figure d'ensemble ses positions successives; en A et B, points fixes, l'amplitude de la vibration est nulle: ces points sont appelés *nœuds*; c'est en C que l'amplitude est la plus grande: ce point est appelé *ventre* (fig. IV). Maintenant, la corde étant immobile, effleurons le point milieu C avec le doigt, de façon à empêcher le ventre de se former; puis attaquons la corde en D ou en E (au quart ou aux trois quarts); chacune des deux moitiés de la corde vibre alors séparément; il y aura trois nœuds A, C et B, deux ventres D et E; la corde prendra l'apparence d'un double fuseau (fig. V); mais la corde vibrant en somme de la même façon que deux cordes moitié moins longues placées bout à bout, va donner un nombre

de vibrations double ; le son obtenu sera l'*octave* du son fondamental.

De la même façon, si on effleure la corde en un point F (ou G) situé au tiers de sa longueur et si on l'attaque au milieu, elle vibre comme trois cordes trois fois moins longues placées bout à bout et elle donne un son dont le nombre de vibrations est triple de celui du son fondamental (fig. VI). Et ainsi de suite.

La famille de sons, ainsi donnée par une même corde, forme ce qu'on appelle les *harmoniques* : leurs nombres de vibrations sont dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4, 5, etc. ; leur rôle est très grand dans la constitution des gammes et des accords musicaux (1).

---

(1) Soit une note de hauteur donnée que nous appellerons *do*. Les sept notes musicales formant une *gamme majeure diatonique* sont définies par les rapports ci-dessous, de leur nombre de vibrations à celui de la note *do*, dite *tonique*.

do	ré	mi	fa	sol	la	si	do
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

L'octave du *do* porte le même nom et sert d'origine, de tonique à une nouvelle gamme et ainsi de suite.

Pour définir la hauteur absolue des différentes gammes, on a précisé la hauteur du *la* qui se trouve au milieu du clavier du piano (*la normal*) ; il fait 870 vibrations simples par seconde. Les gammes successives sont définies par un indice ; la gamme contenant le *la* normal porte l'indice 3 (do_3, $ré_3$, etc.) ; en dessous d'elle on trouve les gammes de do , do_1 et do_{-1} ; en dessus les gammes do_4, do_5, do_6, etc.

La *parenté* musicale de deux sons est définie par leur *intervalle*, autrement dit le rapport de la hauteur du son le plus aigu à celle du son le plus grave. L'intervalle do_1-do_2 (2/1) est appelé *octave* ; l'intervalle do_1-sol_1 ou fa_1-do_2 (3/2) est appelé *quinte* ; l'intervalle do - fa_1 ou sol_1-do_2 (4/3) est appelé *quarte*, etc. Quand on émet plusieurs sons simultanément, on a un *accord* ; les accords sonnent d'autant mieux à l'oreille que les intervalles de leurs notes constitutives sont plus simples ; le type de l'*accord*

N° 8. — Instruments à archet; violon; violoncelle.

Les diverses propriétés qui précèdent sont appliquées dans les instruments de musique à cordes; on peut les distinguer en trois catégories suivant la façon dont la corde est mise en vibration:

1° Instruments à archet: violon, alto, violoncelle, contrebasse.

2° Instruments à cordes pincées: harpe, guitare, mandoline.

3° Instrument à corde frappée: piano.

Les instruments à archet, aujourd'hui usités dans les orchestres, ont tous les quatre une forme analogue; ils

---

consonant est l'*accord parfait* do-mi-sol qui comprend une tierce et une quinte.

Supposons qu'une corde ait comme son fondamental le do_1; ses harmoniques successifs sont:

do_1	do_2	sol_2	do_3	mi_3	sol_3	.	do_4	etc.
1	2	3	4	5	6	7	8	

On remarquera que jusqu'au 6[e] harmonique on ne trouve que les notes formant accord parfait avec la note fondamentale. De même les harmoniques du fa seront:

fa_1	fa_2	do_3	fa_3	la_3	do_4	.	fa_4	etc.
1	2	3	4	5	6	7	8	

Ces constatations permettent de pressentir le rôle des harmoniques dans la constitution des accords musicaux.

Les intervalles des notes successives de la gamme sont:

do	ré	mi	fa	sol	la	si	do
9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	

Les intervalles 9/8 et 10/9, sensiblement identiques, sont appelés *tons*; l'intervalle 16/15 est appelé *demi-ton*.

On a intercalé entre deux notes différant d'un ton une note supplémentaire (*notes diésées ou bémolisées*), de façon que l'octave se trouve subdivisée en 12 demi-tons; on obtient ainsi une gamme de 12 notes, dite *gamme chromatique*.

ont quatre cordes en boyau de mouton dont la longueur vibrante est limitée par deux chevalets, l'un C placé sur la caisse, l'autre S (sillet) sur le manche de l'instrument; ces cordes sont fixées à un bout sur une pièce fixe Q (queue ou cordier), de l'autre elles s'enroulent sur des chevilles à vis V qui permettent d'en régler la tension et par suite de les accorder.

Les quatre cordes sont différentes : la corde grave du violon, les deux cordes graves du violoncelle et de l'alto sont entourées d'un fil de laiton enroulé en spirale qui les rend plus lourdes (*cordes filées*).

Une corde donnant un son d'autant plus aigu qu'elle est plus courte, on se rend compte facilement que les quatre instruments se meuvent dans un registre d'autant plus aigu qu'ils sont plus petits; le violon est plus aigu que l'alto, celui-ci plus que le violoncelle; la contrebasse est plus grave encore.

Pour faire rendre un son à l'une des cordes, on peut simplement l'écarter de sa position avec le doigt; mais on n'obtient ainsi qu'un son sec, peu intense et très court (*pizzicato*); on emploie presque exclusivement l'*archet*: il est composé d'une baguette de bois un peu flexible sur laquelle est tendue une mèche plate de crins de cheval enduite de colophane; en frottant doucement l'archet sur la corde, on obtient un son continu, puissant et harmonieux. Voici comment l'archet met la corde en vibration; s'il n'y avait pas de résine sur les crins, la corde ne serait pas écartée de sa position d'équilibre; mais le frottement de la résine suffit à faire adhérer légèrement la corde à l'archet; elle est donc entraînée par lui, mais bientôt son élasticité la ramène en arrière; elle est de nouveau entraînée et ainsi de suite.

Si l'on passe l'archet sur une des cordes *à vide,* elle donne le son fondamental. Pour obtenir un son différent, on appuie un doigt de la main gauche sur la corde de façon à réduire sa longueur vibrante; on obtient ainsi des sons plus aigus que le son fondamental et d'autant plus aigus que la longueur vibrante est plus faible (*sons artificiels*).

On peut également obtenir des sons harmoniques; si comme nous l'avons expliqué plus haut, on effleure la corde avec un doigt pour produire un nœud et qu'on l'attaque avec l'archet en un point convenablement choisi, on obtient un harmonique de la corde à vide (*harmoniques naturels*).

Si on appuie sur la corde en un point pour réduire sa longueur vibrante et qu'on l'effleure en un autre point, on obtiendra des harmoniques de la corde réduite (*harmoniques artificiels*).

On comprend facilement que, disposant de ces divers moyens sur quatre cordes différentes le violoniste puisse fournir une échelle de sons très grande; un point sur lequel il faut insister, c'est le rôle de la caisse en bois, percée de deux orifices en *f*, qui forme le support de l'appareil. Elle agit comme résonateur, c'est-à-dire que les vibrations des cordes lui sont transmises par le chevalet, l'air qu'elle contient entre à son tour en vibrations, en renforçant le son d'une façon considérable. (1)

Quand on veut jouer avec une sonorité très faible on coiffe le chevalet d'une espèce de pince à trois dents (*sourdine*) qui l'alourdit et réduit les vibrations qu'il transmet à la caisse.

---

(1) Le sonomètre dont nous avons parlé plus haut comporte aussi une caisse de résonance.

La nature des matériaux, les détails de fabrication ont une grande influence sur le caractère ou timbre du son donné par ces instruments. Sous sa forme actuelle, le violon ne date que du milieu du XVI[e] siècle, où il commença à se substituer aux *violes* ; des instruments analogues existaient depuis longtemps et on en trouve, à un état plus ou moins rudimentaire, chez beaucoup de peuples exotiques.

N° 9. — Instruments à corde pincée, mandoline, guitare.

L'instrument quasi national des Espagnols, la *guitare*, est construit d'une façon très analogue au violon, dont il rappelle la forme : de ses six cordes, trois sont en boyau ; les trois plus graves sont en soie filée de laiton. Des petits chevalets (ou sillets) placés sur le manche de l'instrument indiquent où l'on doit placer les doigts pour réaliser les notes de la gamme.

On pince les cordes pour les faire vibrer ; de cette façon on ne peut obtenir que des sons détachés et de peu de durée, et non pas des sons *tenus*, comme ceux qu'on réalise avec le frottement de l'archet.

La *mandoline* est le dernièr représentant actuel d'une famille d'instruments très répandus au moyen âge (théorbe, luth, mandore, etc.) Elle est analogue comme construction aux instruments précédents, mais sa caisse est arrondie et non plate.

Elle a huit cordes métalliques, deux à deux identiques. On met ces cordes en vibration, non avec le doigt, mais avec un petit morceau d'écaille (*mediator*). En attaquant successivement d'une façon répétée et rapide les deux

cordes accouplées, on arrive à produire une sorte de tremolo imitant plus ou moins bien les notes tenues du violon.

La *harpe* est un instrument d'origine très ancienne puisque les anciens Égyptiens et les Grecs en possédaient déjà.

Elle se compose simplement d'un bâti triangulaire sur lequel sont montées des cordes nombreuses de longueurs décroissantes, donnant par conséquent quand on les pince des sons de plus en plus aigus. On peut obtenir des harmoniques (1).

N° 10. — Mécanisme du piano.

Le *piano* possède autant de cordes que de notes à exécuter; les cordes graves sont en laiton et filées, les cordes aiguës en acier (2); on les accorde par la tension. Ces cordes vibrent toujours dans toute leur longueur; chacune d'elles ne donne ainsi que le son fondamental. La facilité avec laquelle le piano donne un grand nombre de notes simultanées en fait comme un petit orchestre.

Voici un croquis du mécanisme ingénieux de cet instrument: soit C une corde, T la *touche* correspondante du clavier. Quand on appuie sur la touche, celle-ci

---

(1) Dans la harpe ordinaire, sept pédales manœuvrées par les pieds de l'artiste raccourcissent les cordes de façon à hausser leurs sons fondamentaux d'un demi-ton ou d'un ton; chaque corde peut ainsi donner trois sons différents.

Dans la *harpe chromatique*, les cordes sont, comme dans le piano, en même nombre que les notes à obtenir; il n'y a plus de pédales de raccourcissement; chaque corde vibre toujours dans toute sa longueur.

(2) Les cordes aiguës sont formées en réalité de 2 ou 3 cordes identiques placées côte à côte et vibrant ensemble, afin d'avoir une sonorité suffisante.

tournant autour d'un axe 1, dans le sens de la flèche, vient soulever un levier L mobile autour d'un axe 2; en même temps que lui se soulève *l'échappement* E (mobile autour d'un axe 3); cet échappement prend en dessous dans une encoche *e* la *noix* N, mobile autour de l'axe 4, et lance le *marteau* M contre la corde. Le croquis I montre les pièces au repos; le croquis II leurs situations respectives au moment où le marteau M frappe la corde.

En même temps que l'échappement, le levier L soulève un second levier P (par l'intermédiaire d'une tige S articulée en 6 et coulissant en 7) ; ce levier, pivotant autour d'un axe 5, écarte de la corde un *étouffoir* F, sorte de sabot en feutre qui par son contact l'empêche de vibrer. Mais aussitôt que le marteau M a frappé la corde, il est rappelé en arrière, non seulement par l'élasticité de celle-ci, mais encore par l'action d'une lanière élastique R, attachée à une tige portée par le levier L. Le marteau vient donc dans la position de la figure III. Pour éviter qu'un ricochet ne le ramène une seconde fois sur la corde, un petit sabot feutré B (*contre-attrape*), porté par la noix N, vient se coincer contre un autre A (*attrape-marteau*) porté par le levier L. En même temps la noix N vient reposer sur l'échappement E par son encoche supérieure *f*.

Tout reste en l'état tant qu'on tient la touche T enfoncée; dès qu'on la lâche, le levier L redescend,par suite P; donc l'étouffoir F vient se coincer contre la corde et arrête ses vibrations; l'échappement E descend et permet à la noix N de tourner, laissant le marteau reprendre la position de la figure I. Deux barres U, V (vues en coupe) limitent les mouvements de l'échap-

pement E qu'un ressort R tend toujours à pousser vers la gauche.

Une barre X sert d'appui aux marteaux M, dans la position de repos, de façon que leur poids ne coince pas l'échappement E.

La barre Y supporte les leviers L et les marteaux (axes 2 et 4); la barre Z supporte les étouffoirs (axes 5).

Toutes les surfaces du portage sont feutrées (les lames de feutre sont représentées en noir sur la figure); de cette façon les mouvements de ce mécanisme sont absolument silencieux et n'ajoutent au son des cordes aucun élément étranger.

Il faut ajouter deux mots au sujet des *pédales*; en appuyant avec le pied gauche sur une pédale dite de *piano*, par une série de leviers, on intercale en G entre les cordes et les marteaux une bande de feutre qui amortit le choc et rend les sons beaucoup moins intenses. Au contraire, si l'on appuie avec le pied droit sur une autre pédale, dite *de forte*, une série de leviers soulève une barre W et par son intermédiaire écarte les étouffoirs (position W en pointillé dans le croquis III); le son peut donc persister après que le doigt a abandonné la touche (1).

N° 11. — **Piano droit, piano à queue.**

Quant à l'aspect extérieur, il existe deux sortes de pianos: 1° ceux dont les cordes sont placées dans un plan horizontal, sont appelés *pianos à queue*; leur forme

(1) Il existe des variantes dans ces mécanismes, mais le principe est toujours le même. Nous avons insisté un peu sur le piano, à cause de la grande diffusion actuelle de cet instrument.

s'explique facilement si l'on se rappelle que les cordes graves doivent être plus longues; ils ont en somme la forme d'une harpe couchée ; 2° ceux dont les cordes sont placées dans un plan vertical sont appelés *pianos droits*; ils sont moins encombrants, mais moins bons que les précédents.

Le piano, tel qu'il est actuellement employé, a remplacé le *clavecin* dans le cours du XVIIIe siècle; dans celui-ci, dont la forme rappelait celle du piano à queue, les cordes étaient attaquées par de petits becs de plume; on obtenait ainsi une sonorité faible et sèche, comme celle d'une guitare.

N° 12. — Embouchures de tuyau sonore.

Une seconde classe d'instruments de musique est celle qui utilise les *tuyaux sonores*.

Nous savons déjà que l'air est capable de vibrer puisqu'il peut transmettre le son; nous allons voir comment on peut obtenir des sons puissants en le faisant vibrer dans un tuyau.

Pour faire *parler* un tuyau d'orgue par exemple, on se sert le plus souvent de l'embouchure représentée sur la figure et appelée *embouchure de flûte* (1).

Le pied P du tuyau est fixé sur une soufflerie S; l'air arrive dans la boîte à air B, il en sort par une lumière L pour venir frapper une lèvre A taillée en biseau; le frottement de l'air contre le biseau produit un sifflement aigu, mais faible, qui met tout l'air du tuyau en vibra-

(1) Comme nous le verrons, l'embouchure de la flûte est beaucoup plus simple; mais les tuyaux d'orgues dits *jeux de flûte* sont embouchés de cette façon.

tion et produit un son intense (fig. I). Les figures II et III sont des coupes de sifflets ordinaires ; leurs embouchures sont absolument analogues à la précédente ; la bouche sert à la fois de soufflerie et de boîte à air. Dans la figure III le courant d'air se divise en deux et vient frapper deux lèvres A et B.

Pour une corde, il est facile de rendre tangible son mouvement vibratoire, qui est d'ailleurs visible ; pour l'air on peut au moins s'en rendre compte par l'expérience simple suivante, due au physicien *Savart*. Descendons dans le tuyau, comme le montre la figure (I) une petite membrane m, suspendue à un fil et recouverte de sable. En certains points, le sable reste immobile ; ailleurs au contraire il saute d'une façon très vive, accusant l'agitation de l'air. On a d'ailleurs trouvé des moyens d'examen plus précis sur lesquels nous n'insisterons pas.

N° 13. — **Vibrations dans les tuyaux sonores.**

Soit un tuyau O E (fig. 1), ouvert en O et dont l'embouchure est en E ; faisons fonctionner la soufflerie en augmentant doucement le vent jusqu'à ce que le tuyau parle. On constate alors que les molécules d'air situées dans un plan transversal quelconque du tuyau oscillent *ensemble* de part et d'autre de leur position d'équilibre, comme un pendule de part et d'autre de la verticale.

Les molécules de la moitié droite du tuyau et celles de la moitié gauche s'écartent ensemble de la tranche milieu N qui reste absolument immobile (comme le montre très bien l'expérience de Savart) ; l'amplitude

de l'oscillation est maximum au bout libre O et à l'embouchure E; une tranche intermédiaire, C ou D, oscille mais avec une amplitude moindre que celle des tranches O et E. Les figures I,II,III et IV montrent les positions successives des tranches.

Les figures V,VI,VII et VIII montrent les états correspondants de compression et de dilatation de l'air comme on les verrait si l'air était coloré; l'air comprimé étant figuré en noir, l'air dilaté en blanc. Les extrémités O et E, où l'amplitude du mouvement vibratoire est maximum, sont toujours à la pression ordinaire, car elles communiquent librement avec l'atmosphère; au milieu N, au contraire, comme nous venons de le voir, l'air est alternativement à une pression supérieure (fig. VI) ou inférieure (fig. VIII) à la pression atmosphérique.

Le point N, où l'air est immobile, analogue au point fixe d'une corde, est appelé *nœud*; les points O et E où l'amplitude est maximum sont appelés *ventres*. Remarquons les différences qui existent entre une corde et un tuyau sonore : le mouvement des diverses portions d'une corde sonore est transversal à la corde; ici la vibration des molécules d'air est longitudinale. Dans un tuyau ouvert il y a un nœud au milieu et un ventre à chaque extrémité; c'est l'inverse pour la corde.

Comparons maintenant les sons donnés par plusieurs tuyaux. Prenons d'abord des tuyaux de formes identiques faits de matières différentes: bois, cuivre, étain, verre, etc.; s'ils sont tous bien polis intérieurement pour n'opposer aucune résistance au mouvement de l'air, s'ils sont assez épais pour ne pas vibrer eux-mêmes, ils donneront des sons absolument *identiques*, et en effet le tuyau n'intervient que par sa forme; le corps vibrant,

le corps sonore, ce n'est pas le tuyau, c'est la colonne d'air qu'il contient (1).

Si l'on compare des tuyaux de même longueur et de *sections différentes,* pourvu que celles-ci restent assez petites par rapport à la longueur, le son reste le même, contrairement à ce qui se passe avec les cordes. La *forme* carrée, rectangulaire, polygonale ou circulaire de la section n'a pas d'influence.

Si l'on compare enfin des tuyaux de *longueurs différentes* on constate, comme pour les cordes, que les tuyaux les plus longs donnent les sons les plus graves ; le nombre de vibrations est en raison inverse de la longueur du tuyau (2).

Jusqu'ici, nous n'avons considéré que des tuyaux dont l'extrémité opposée à l'embouchure est ouverte ; que se passe-t-il pour un *tuyau fermé,* comme un sifflet ? Nous allons le deviner facilement ; au milieu N du tuyau ouvert se forme, comme nous l'avons dit, un nœud, c'est-à-dire que la tranche d'air y est absolument immobile, l'air de la moitié droite et celui de la moitié gauche du tuyau se rapprochant et s'éloignant ensemble de cette tranche milieu. On comprend facilement que les vibrations ne seront pas modifiées (pour la portion située du

---

(1) On a pu faire des trompettes en bois, un orgue à tuyaux de carton ; les flûtes métalliques équivalent aux flûtes en bois.

Mais, en pratique, on peut au contraire, en modifiant convenablement la forme et la nature du tuyau, ainsi que la nature de l'embouchure, varier le timbre des instruments ; il y a par exemple une différence très nette entre les notes de même hauteur de la flûte, de la clarinette, du hautbois et du saxophone.

(2) Un tuyau cylindrique ouvert de $1^{m}30$ de long (tuyau de 4 pieds des facteurs d'orgue) donne le do_3 immédiatement inférieur au la_3 du diapason. On obtiendra ce la_3 avec un tuyau de $1^{m}30 \times 3/5 = 0^{m}78$.

côté de l'embouchure E) si l'on vient mettre en N une cloison ; l'expérience vérifie parfaitement cette conclusion.

Ainsi un tuyau fermé peut être considéré exactement comme un demi-tuyau ouvert ; *il donne le même son qu'un tuyau ouvert de longueur double;* un nœud se forme au fond du tuyau, un ventre à son embouchure.

Les figures IX à XII représentent quatre aspects successifs des vibrations dans le tuyau fermé ; les fig. XIII à XVI, les pressions dans le tuyau.

N° 14. — **Harmoniques des tuyaux sonores.**

De même qu'une corde, un tuyau peut rendre plusieurs sons ; le plus grave, celui que nous venons d'étudier est encore appelé *son fondamental*.

Soit un tuyau d'embouchure A, *ouvert* en B, donnant le son fondamental (fig. I) ; comme nous l'avons dit il y a deux ventres en A et B et un nœud en C ; forçons le vent ; nous obtenons un son dont le nombre de vibrations est double et nous constatons la présence de deux nœuds E et D placés au quart et aux trois quarts de la longueur, tandis qu'un ventre supplémentaire C se forme au milieu (fig. II). Tout se passe donc comme si le tuyau était formé de deux tuyaux A C et C B moitié moins longs donnant chacun leur son fondamental (fig. IV).

Forçons encore le vent ; nous obtenons un son dont le nombre de vibrations est triple du son fondamental ; il y a maintenant trois nœuds H, C, K au sixième, à la moitié et aux cinq sixièmes de la longueur et deux ventres supplémentaires en F et G (fig. III) ; tout se passe comme si le tuyau était formé de trois tuyaux A F, FG

et G B trois fois moins longs, vibrant séparément (fig. V), et ainsi de suite.

Un tuyau ouvert peut ainsi donner, suivant qu'on force plus ou moins le vent, une famille de sons (*harmoniques*), dont les nombres de vibrations sont dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4, 5, etc.

Un tuyau fermé, nous l'avons dit, se comporte comme un demi-tuyau ouvert; il donnera donc lui aussi des harmoniques, mais il ne pourra donner que ceux qui produisent un nœud au fond B du tuyau.

La figure VI correspond au son fondamental; la figure VII au son harmonique immédiatement supérieur; un nouveau nœud s'est formé en C au tiers du tube et un nouveau ventre en D aux deux tiers; le tuyau vibre comme trois tuyaux fermés A C, C D et D B trois fois plus petits, placés l'un au bout de l'autre (fig. IX); le nombre de vibrations est trois fois plus grand que celui du son fondamental.

Les figures VIII et X sont relatives à l'harmonique suivant, dont le nombre de vibrations est cinq fois celui du son fondamental.

Un tuyau fermé donne donc, suivant qu'on force plus ou moins le vent, une famille de sons (*harmoniques*), dont les nombres de vibrations sont dans le rapport des nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc. (harmoniques impairs).

Comme illustration de ce qui précède, la figure XI montre quatre tuyaux à embouchure de flûte susceptibles de donner *le même son*; le tuyau fermé A donne le son fondamental (son 1); le tuyau ouvert B, deux fois plus long, donne aussi le son fondamental; le tuyau fermé C, trois fois plus long, donne le son 3; le tuyau ouvert B, quatre fois plus long, donne le son 2.

N° 15. — Tuyaux à anche.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des tuyaux à embouchure de flûte ; il en existe une autre sorte très répandue, l'embouchure à *anche*, qui jouit de propriétés très différentes. Dans les tuyaux d'orgue l'anche est une languette métallique *l* fixée à un bout et dont la partie libre est réglée par un crochet mobile *r* (*rasette*). Cette lame, en oscillant, ouvre et ferme alternativement un tuyau à fente latérale *a*, soit en passant librement dans la fente (*anche libre*), soit en buttant contre ses bords (*anche battante*). Avec une anche métallique rigide comme celles des tuyaux d'orgue, il faut que l'anche ait une longueur bien déterminée pour que le tuyau parle convenablement; on la règle au moyen de la rasette (1).

Un tuyau cylindrique ouvert avec embouchure à anche jouit d'une propriété très curieuse: il vibre exactement comme un tuyau fermé à l'endroit de l'anche, c'est-à-dire qu'il donne un *nœud* et non un ventre en ce point; il en résulte qu'il ne peut donner que des *harmoniques impairs*.

On emploie dans les instruments de musique, non seulement des tuyaux cylindriques, mais encore des *tuyaux coniques* à anche. Chose curieuse, un tuyau conique fermé au sommet, puisqu'il a une anche, se comporte exactement comme le tuyau cylindrique ouvert de même longueur: il donne donc la série complète 1, 2, 3, 4, 5, etc., des sons harmoniques.

---

(1) Les vibrations de l'anche donnent lieu à un son aigu mais peu intense; elles servent à déchaîner celles de l'air du tuyau infiniment plus puissantes, comme la capsule qui fait déflagrer une grosse masse de poudre.

N° 16. — Grand orgue du Cristal Palace.

Au premier rang des instruments à vent se place l'*orgue*: il comprend un nombre considérable de tuyaux ouverts et fermés, cylindriques, coniques, rectangulaires, pyramidaux, en bois, en étain, en alliages métalliques divers, à bouche, à anche libre, à anche battante, et de toutes grandeurs: les plus graves ayant jusqu'à 10 mètres de longueur, les plus aigus étant de petits sifflets de huit à dix millimètres.

Ils sont répartis en *jeux*, chaque jeu comprenant une famille de tuyaux de même construction dont les sons ont une parenté et portant le nom de l'instrument qu'il imite (jeu de flûte, jeu de basson, voix humaine, etc.).

Tous les tuyaux d'un même jeu (formant un plus ou moins grand nombre de notes consécutives), sont placés côte à côte verticalement sur une caisse en bois ou *sommier*, dans laquelle arrive le vent d'une soufflerie, mue généralement par un aide.

Quand l'organiste veut produire des notes appartenant à un jeu, il tire un bouton placé à sa portée: ce mouvement, par l'intermédiaire d'une *transmission*, déplace un *registre*, sorte de règle plate percée de trous qui démasque alors les embouchures de tous les tuyaux composant le jeu; on peut bien entendu, au moyen des boutons correspondants, manœuvrer ainsi les registres de plusieurs jeux. D'ailleurs, aucun son ne se produit par cette opération, les embouchures étant encore fermées par des soupapes.

Mais si l'organiste appuie sur les touches, corres-

pondant aux notes qu'il veut émettre (1), il ouvre les soupapes des tuyaux correspondants à ces notes dans tous les jeux dont les registres ont été préalablement ouverts.

Les orgues les plus compliqués ont jusqu'à 5 *claviers* de touches différents; en outre, un clavier supplémentaire ou *pédalier* est mû par les pieds de l'exécutant; ils ont jusqu'à 100 jeux et plus, équivalant à autant d'instruments fictifs différents et formant une armée de tuyaux ; on n'exagère donc pas en disant que l'orgue est à lui seul un orchestre complet.

Son origine est très ancienne (2); les Grecs possédaient déjà, dit-on, des orgues hydrauliques, où l'eau régularisait la pression des soufflets. L'orgue pneumatique fut d'abord portatif, puis ses dimensions s'accrurent jusqu'à celles qu'il a de nos jours; le clavier n'apparut qu'assez tard, avec de larges touches qu'on devait enfoncer à grands coups de poing, à cause de l'imperfection des transmissions.

N° 17. — **Instruments à vent, sans clefs ni pistons.**

Abandonnant l'orgue, nous allons parler maintenant des instruments à vent essentiellement portatifs employés dans les orchestres ou les fanfares.

Contrairement à l'orgue qui comprend un tuyau pour

(1) La *transmission* qui meut les registres et les soupapes comprend des leviers et de petits soufflets dits leviers pneumatiques; ces derniers peuvent même être mus par des électro-aimants.

(2) Divers instruments peuvent être considérés comme origines de l'orgue: la *cornemuse* (ou le *biniou* breton) avec ses tuyaux à anche et son réservoir à air en est certainement une ébauche.

chaque note, les instruments à vent actuels sont tous formés d'un seul tuyau.

Or, rappelons-nous ce qui a été dit plus haut : un tuyau sonore est capable de donner une famille de sons dits *harmoniques* dont le plus grave (son fondamental) est déterminé par la longueur du tuyau.

Si l'on prend par exemple un tuyau conique comme la trompe de mail-coach, muni d'une embouchure à anche, nous avons dit qu'il donne la série complète des harmoniques dont les nombres de vibrations sont dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4, 5, etc.

Tel est le cas du *cor de chasse* : c'est un simple tuyau conique en cuivre, de plusieurs mètres de longueur, terminé par un pavillon évasé, et enroulé plusieurs fois sur lui-même (1).

Son embouchure analogue à celle de la plupart des instruments en cuivre est une simple cuvette (ou *bocal)* contre les bords de laquelle viennent s'appuyer les lèvres de l'exécutant ; en raison de leur élasticité, elles vibrent sous l'action de l'air exhalé par les poumons, comme vibre l'anche d'un tuyau d'orgue ; elles jouent le rôle d'*anche double*, mettant en vibration la colonne d'air contenue dans le tuyau. En modifiant convenablement le jeu des lèvres contre l'embouchure, on arrive à donner une dizaine d'harmoniques (le son fondamental ne peut en réalité être produit).

---

(1) Dans presque tous les instruments à vent, le tube affecte une forme plus ou moins contournée, qui permet de rendre l'instrument portatif; cela ne change rien au mode de vibration de la colonne d'air, mais rend cependant difficile l'émission des harmoniques inférieurs.

Les instruments rectilignes (flûte, hautbois, etc.) étant forcément assez courts, ne peuvent donner de sons graves.

Le *clairon* peut être considéré comme un petit cor ; c'est en effet un tube conique enroulé différemment ; étant beaucoup plus court, il donne des sons plus aigus et d'ailleurs peu nombreux avec lesquels on a cependant réussi à établir toutes les sonneries militaires.

La *trompette* ordinaire est un instrument analogue au clairon, mais au tube un peu plus long donc un peu plus grave.

Si l'on construit plusieurs cors dont les tubes aient des longueurs différentes, ils donneront des séries de sons différentes, d'autant plus aiguës qu'ils seront plus courts ; or, on a trouvé un moyen de modifier la longueur du tuyau sonore pour passer facilement de l'une des séries de sons à l'autre, ou comme disent les musiciens d'un *ton* à l'autre ; on emploie des *corps ou tons de rechange.*

Le tube est contourné de façon à présenter deux portions rectilignes parallèles réunies par une partie amovible recourbée qui vient s'y enfoncer à frottement dur. C'est cette partie recourbée qui forme le corps de rechange ; le corniste en possède un certain nombre de longueurs différentes qu'il peut substituer à volonté les uns aux autres. L'instrument ainsi complété figure dans les orchestres où il prend le nom de *cor d'harmonie.*

La trompette possède également des tons de rechange, la portion A B C de la figure est en effet amovible.

N° 18 . — **Trombone à coulisse.**

Dans le *trombone à coulisse,* la même question a été résolue d'une façon simple et ingénieuse. C'est le même corps mobile A B C qu'on emploie, en le faisant coulisser

plus ou moins avec la main droite qui tient la traverse T, dans la partie fixe de l'instrument. Le ton devient de plus en plus grave à mesure que l'instrument s'allonge : en abaissant le son fondamental, on abaisse toute la série des harmoniques.

N° 19. — **Instruments à vent, à pistons.**

Pour éviter les difficultés résultant de la substitution des corps de rechange, tout en ayant un maniement beaucoup plus facile que celui du trombone à coulisse, on a créé les instruments à pistons.

Imaginons par exemple un cor de chasse muni de plusieurs tons de rechange qu'on pourra intercaler dans le circuit général en appuyant sur un, deux ou trois pistons, et nous aurons le *cor à pistons* ou *cor chromatique*.

Sur le même principe sont fondés de nombreux instruments : le *cornet à pistons*, la *trompette chromatique*, le *trombone à pistons*, toute la famille des *saxhorns* (bugles, tuba, etc.) très employés dans les musiques militaires et fanfares.

Un corps facilement amovible sert à vider périodiquement l'eau qui s'accumule dans l'appareil.

N° 20. — **Flûtes.**

Les instruments à *clefs* dont nous allons nous occuper maintenant sont fondés sur un principe un peu différent.

Soit par exemple un tuyau ouvert en A, ayant en E une embouchure de flûte ; nous savons qu'il peut donner une série complète de sons harmoniques (1,2,3,4,5, etc.) dont le plus grave ou son fondamental est déterminé

par la longueur du tuyau. Pour élever le son fondamental et avec lui toute la série des harmoniques, on pourrait couper le tuyau plus ou moins loin de son extrémité A, en B, C ou D. Mais on arrivera au même résultat beaucoup plus simplement en le perçant de trous 1,2,3, etc., aux endroits nécessaires pour réaliser tous les sons dont on a besoin. Si ces trous étaient assez peu nombreux et assez rapprochés (1), on pourrait les boucher en temps ordinaire avec les doigts, débouchant seulement celui qui correspond à la note qu'on veut émettre; mais en pratique, ils seront bouchés par des *clefs*, sortes de soupapes métalliques circulaires, garnies de feutre commandées par des leviers articulés dont les extrémités sont groupées commodément sous les doigts de l'artiste.

La *flûte* est un tuyau cylindrique ouvert en bois, en argent ou en maillechort, construite d'après le principe précédent.

Son embouchure est réduite à la simplicité maximum; elle se compose d'un simple trou placé dans la paroi latérale du tuyau sur le biseau de laquelle vient se briser le léger courant d'air sortant de la bouche de l'artiste; il y a en somme analogie avec l'embouchure des tuyaux d'orgue décrite plus haut (fig. 12), mais ici la bouche joue à la fois le double rôle de soufflerie et de boîte à air. Du fait de cette embouchure particulière, il résulte que la flûte doit être tenue latéralement devant la bouche, ce qui lui fit donner à l'origine le nom de flûte *traversière*, par opposition aux anciennes flûtes *à bec*

---

(1) Comme dans l'ocarina, ou les flûtes d'enfant.

(*flageolets*) qui se tenaient comme le hautbois ou la clarinette.

Il existe des *petites flûtes*, plus courtes et par conséquent plus aiguës que la flûte ordinaire.

N° 21. — Instruments à clefs ; diapason ; triangle.

La *clarinette* comporte un tube cylindrique en bois, muni de clefs, et d'une embouchure à *anche*; elle fonctionne comme un tuyau fermé et ne donne que les harmoniques impairs : 1, 3, 5, 7, etc., ce qui rend son doigté très différent de celui de la flûte ; la clarinette ordinaire est droite, mais on en construit de plus graves (cor de basset, clarinette-basse) qui en raison de leur longueur sont recourbées à l'embouchure et au pavillon.

La figure montre une coupe de l'embouchure ; le tuyau s'ouvre latéralement par une fente rectangulaire ; celle-ci est recouverte par une anche de roseau, rectangulaire également et amincie à son extrémité, de façon à être très élastique. La bouche enserre l'extrémité de cette espèce de bec et souffle le vent sur l'embouchure A ; par suite de l'élasticité de l'anche, celle-ci s'ouvre et se ferme alternativement avec une grande rapidité, ce qui met l'air en vibration. C'est en somme un tuyau à anche battante, où la bouche remplace la soufflerie.

Le *hautbois* et le *basson* sont des tuyaux coniques à clefs, construits eux aussi en bois ; ils ont une embouchure à *anche double*, composée de deux anches minces et flexibles en roseau juxtaposées, ligaturées à leur partie inférieure et formant une espèce de bec. Ces instruments donnent la série complète des harmoniques, et ont par suite un doigté voisin de celui de la flûte.

Le hautbois est rectiligne, ainsi que le *cor anglais* qui est un peu plus grave.

Le tuyau du basson étant beaucoup plus long, on a dû le former de deux parties repliées l'une contre l'autre et son bec a été placé latéralement.

Le *sarrusophone* est un instrument de cuivre à clefs analogue au basson, mais encore plus grave, et dont le tube est replié plusieurs fois sur lui-même.

Les *saxophones* sont de véritables clarinettes en cuivre, mais leur tuyau est conique ce qui rend leur doigté voisin de celui du hautbois; ils sont droits ou recourbés suivant leur ton.

L'*ophicléide* qui, à cause de ses imperfections tend à disparaître devant les saxhorns, possède lui aussi un tube conique de cuivre, avec clefs, mais son embouchure est un simple bocal.

Les instruments à cordes ou à vent sont les plus nombreux, mais non pas les seuls employés. Le *tambour*, les *timbales*, la *grosse caisse* ont pour organe sonore des peaux de veau parcheminées qu'on tend sur des caisses de cuivre cylindriques ou hémisphériques par des vis ou des cordes; la peau est attaquée par percussion et ses vibrations sont renforcées par celles de l'air contenu dans la caisse. Nous avons vu plus haut comment l'élasticité des membranes tendues a été appliquée à l'enregistrement des sons dans le phonautographe.

On a utilisé sous des formes très diverses l'élasticité de divers corps, les métaux notamment, pour leur faire rendre des sons; leur état vibratoire est régi par la loi suivante: *Des corps géométriquement semblables engendrent des sons dont les hauteurs sont inversement proportionnelles à leurs dimensions linéaires.* Cette loi se vérifie

facilement avec une batterie de casseroles, avec les différents verres semblables d'un service de table, avec des bouteilles de divers calibres, etc. Toujours les corps les plus petits donneront les sons les plus aigus et inversement.

Les métaux sont employés dans plusieurs instruments sous forme de plaques circulaires : les *cymbales* par exemple sont deux minces plaques de bronze qu'on fait vibrer en les frappant l'une contre l'autre.

Certains petits carillons d'enfants sont formés de plaques rectangulaires minces en acier posées sur des supports en bois qu'on frappe avec un petit marteau(1). On a construit des instruments analogues avec clavier.

Les organes sonores de l'*harmonium* sont des languettes métalliques minces qu'on met en vibration par l'action d'un courant d'air provenant d'une soufflerie mue par deux pédales et distribué comme dans l'orgue ; ces languettes sont en somme, si l'on veut, des anches libres sans tuyau sonore (2). Le vulgaire *accordéon* fonctionne exactement de la même façon.

Les *cloches* sont mises en vibration par la percussion d'un marteau ; elles sont généralement confectionnées avec un bronze de composition spéciale très élastique ; elles donnent un son d'autant plus intense et plus grave qu'elles sont plus lourdes et leur métal plus dense (3).

---

(1) On construit des instruments analogues appelés *xylophones* avec des barrettes en bois. Le son d'une barrette, pris isolément, est sec à cause du peu d'élasticité du bois, et par suite sans caractère musical ; la succession de plusieurs sons permet une comparaison des hauteurs qui modifie cette impression.

(2) Il existe des instruments intermédiaires entre l'orgue et l'harmonium.

(3) Les cloches atteignent souvent des poids considérables. Le

Les *carillons* qui égaient les beffrois de beaucoup de nos villes du nord sont des batteries de clochettes au son argentin.

Le *triangle* est un exemple de ce que les physiciens appellent une verge vibrante: c'est une tige cylindrique d'acier, coudée deux fois de façon à former un triangle équilatéral ouvert; on la soutient d'une main par un de ses angles au moyen d'un fil et on la frappe de l'autre mais avec une baguette d'acier ou batte; elle rend ainsi un son indéterminé, dont la sonorité cristalline trouve quelquefois son usage à l'orchestre.

Le *diapason* est une verge d'acier à section rectangulaire repliée sur elle-même et fixée sur un pied; pour le faire vibrer on écarte les deux branches au moyen d'une tige de diamètre un peu supérieur à leur distance normale, ou bien on le heurte simplement. Le diapason donne un son faible mais très pur; on en construit de diverses dimensions servant de *repères de hauteur* pour les expériences d'acoustique et en musique (1). On a construit certains instruments (*typophone, célesta*) qui ne sont que des pianos dont les cordes ont été remplacées par des diapasons.

N° 22. — Diapason avec caisse sonore; timbre avec tuyau renforçant.

Pour compléter les quelques notions simples qui précèdent sur le fonctionnement des instruments de

---

bourdon de Notre-Dame de Paris pèse 16.000 kilos; la grosse cloche du Kremlin qui n'a jamais pu être montée dans un clocher pèse, dit-on, 250.000 kilos.

(1) Le diapason *normal* servant d'étalon pour les facteurs d'instruments de musique donne le la_3 de 870 vibrations simples. Il a été adopté en 1859.

musique, il nous reste à ajouter quelques mots sur divers phénomènes accessoires.

On appelle *résonance* le phénomène par lequel un corps élastique se met à vibrer, sans qu'on l'excite directement, mais simplement par suite de son voisinage ou de son contact avec un corps sonore.

La figure montre deux exemples curieux de résonance ; si l'on excite un diapason et qu'on le pose sur une boîte de bois de dimensions convenables, le son émis se trouve considérablement renforcé ; les vibrations du diapason se communiquent à la caisse, et de celle-ci à l'air qu'elle contient ; cette caisse se trouve ainsi transformée en un véritable tuyau sonore qui ajoute sa puissance à celle du diapason. Nous avons dit plus haut que la caisse du violon et des instruments similaires joue un rôle absolument analogue : le son d'une corde isolée serait à peine perceptible à quelques pas. Dans un piano, le plan de bois (ou table d'harmonie) sur lequel les cordes sont fixées, sert également de résonateur.

L'autre figure concerne un second cas de résonance également net : si l'on excite un timbre en frottant son bord avec un archet et qu'on en approche un tuyau cylindrique de dimensions appropriées, le son est considérablement renforcé ; ici c'est uniquement par l'air que les vibrations de l'un des appareils sont transmises au second.

N° 23 . — **Résonateur**.

La caisse du violon, la table d'harmonie du piano vibrent quel que soit le son émis par les cordes ; tous les résonateurs ne sont pas dans le même cas. La

figure montre une forme de résonateur créée par le célèbre physicien allemand Helmholtz : ce sont des sphères creuses à deux tubulures dont l'une s'introduit dans l'oreille ; un résonateur de dimensions données ne peut renforcer *qu'un seul son*.

Ces résonateurs sont très précieux ; ils ont permis d'élucider la difficile question du *timbre* des sons, dont nous n'avons pas encore parlé.

Nous avons en effet signalé deux qualités du son : l'intensité et la hauteur ; mais nous n'avons pas expliqué pour quelle raison deux sons d'égale intensité et d'égale hauteur émis par deux instruments différents (un violoncelle et un trombone par exemple) peuvent être parfaitement distingués.

C'est Helmholtz qui, avec l'aide de ses résonateurs, a pu donner une réponse satisfaisante à cette question ; si l'on émet le son à étudier successivement à proximité d'une quantité de résonateurs différents, on constate que *ce son n'est pas simple* ; au son fondamental, le plus intense, le seul nettement perçu, s'ajoutent *comme un assaisonnement* une foule de sons accessoires harmoniques, plus ou moins élevés du premier, qui modifient son caractère ; ces harmoniques sont différents suivant les instruments qui émettent le son ; ce sont eux qui lui donnent son caractère particulier, *son timbre*.

N° 24. — **Larynx.**

La voix humaine est incontestablement le premier des instruments de musique, par le nombre et la variété des sons qui la constituent.

L'appareil vocal de l'homme est le *larynx*, qui forme en avant du cou la protubérance nommée pomme

d'Adam ; il est placé au sommet de la trachée-artère qui lui amène l'air émis par les poumons ; à sa partie supérieure, il communique avec la cavité buccale.

Le son provient de la mise en vibration par l'air des *cordes vocales*, sorte de replis membraneux du larynx qui ne laissent entre elles qu'une fente très mince et constituent une espèce d'anche double ; des muscles spéciaux modifient leur état de tension et par suite le son émis. En outre, la forme de la cavité buccale modifiée par les joues, la langue et la bouche font de cette cavité un résonateur variable qui permet la production des sons nombreux constituant la parole et le chant.

Les femmes et les enfants ont la voix plus aiguë que les hommes : cela tient aux dimensions plus faibles de leur larynx.

N° 25. — Coupe de l'oreille.

Si le larynx, organe producteur de la voix, est un instrument merveilleux, il en est de même de l'*oreille*, organe récepteur.

Les vibrations sonores transmises par l'air sont reçues d'abord dans l'espèce d'entonnoir formé par le pavillon de l'oreille externe : c'est une espèce de cornet acoustique qui concentre les ondes sonores dans le conduit auditif ; au fond de ce conduit se trouve la membrane du tympan, tendue comme la peau d'un tambour ou la membrane du phonographe. Le tympan se met à vibrer à son tour : les vibrations se transmettent du tympan à une chaîne élastique de petits osselets contenus dans une cavité pleine d'air qui communique avec les fosses nasales par la trompe d'Eustache. Ces organes

composant l'oreille moyenne transmettent à leur tour leurs vibrations aux délicats organes de l'oreille interne, vestibule, canaux semi-circulaires et limaçon encastrés dans les cavités d'un os cranien appelé rocher.

C'est dans ces organes que viennent aboutir, comme les mille cordes d'une harpe infiniment sensible, les multiples terminaisons du nerf auditif.

Chacune d'elle résonne sous l'action de la vibration pour laquelle elle est accordée et la transmet au cerveau.

De même que le fait d'avoir deux yeux permet à l'homme d'apprécier le relief, de même le fait d'avoir deux oreilles lui permet jusqu'à un certain point de distinguer de quel côté vient le son qu'il entend.

Quand le tympan est crevé, la surdité n'est pas complète, les vibrations de l'air se transmettant encore un peu jusqu'à l'oreille interne.

Quand l'oreille interne n'est pas gravement lésée, un sourd peut entendre un son si celui-ci lui est transmis, non par l'air, mais par l'intermédiaire d'un corps solide élastique appliqué contre le crâne ou entre les dents: nous avons dit en effet que le son se transmet facilement dans les solides élastiques, ce qui est le cas des os du crâne.

On a construit sur ces données des *audiphones* destinés à rendre l'ouïe aux sourds dont les nerfs auditifs sont encore intacts; malheureusement l'emploi de ces appareils n'est pas très pratique, et la surdité partielle reste beaucoup plus difficile à pallier que la myopie ou les autres défauts des yeux.

Juillet 1905. A. Thuloup



MELUN. IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE. — M 1958 X